

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-219185

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int. Cl. ⁶
G10H 7/08

識別記号

F I
G10H 7/00

531

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願平10-20584

(22) 出願日 平成10年(1998) 2月2日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社
大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 中西 雅浩

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 藤井 克芳

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

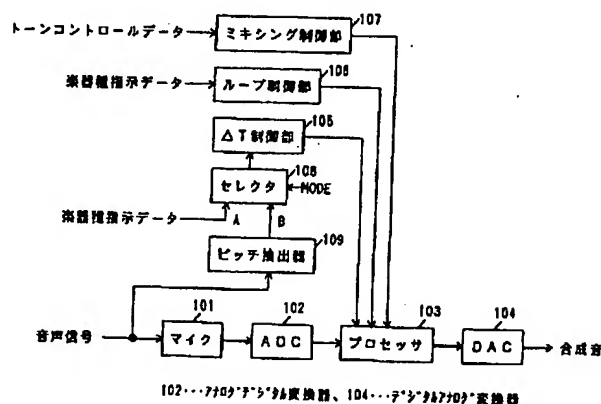
(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

(54) 【発明の名称】 楽音合成装置及び合成アルゴリズム導出方法

(57) 【要約】

【課題】 実際の管楽器の演奏ができない人でも本格的な管楽器の演奏を疑似体験できる楽音合成装置を提供する。

【解決手段】 管楽器の発音メカニズムに基づく合成アルゴリズムに対し、音声等の強制振動項を付加して導出した非線形の微分方程式を解くことにより、管楽器音に略等しい時間波形を生成するプロセッサ103と、微分方程式の強制振動項として音声信号をプロセッサ103に入力するマイク101を備え、プロセッサ103は音声信号の各種情報(ピッチ/レベル/波形形状等)に基づいて所望の楽音を生成する。音声の発生態様をコントロールするだけで、管楽器特有の音色変化を実現できる。例えば、グロール(音の立ち上がりに発生する「ブルッ」という音韻)を表現する場合は、直接音声で「ブルッ」と発音すればよく、タンギングを表現する場合は「タ行」や「カ行」等の音声を入力するだけでよい。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非線形の微分方程式を解くことによって、楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を前記振動シミュレート手段における非線形の微分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段とを備えた楽音合成装置。

【請求項 2】 振動シミュレート手段が、非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより時間波形を生成することを特徴とする請求項 1 記載の楽音合成装置。

【請求項 3】 振動シミュレート手段が、2 次の非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことを特徴とする請求項 2 記載の楽音合成装置。

【請求項 4】 非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を前記振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、前記振動シミュレート手段における差分方程式の微小時間項 ΔT を、指示された楽器種に応じて変更する ΔT 制御手段とを備えた楽音合成装置。

【請求項 5】 振動シミュレート手段が、2 次の非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことを特徴とする請求項 4 記載の楽音合成装置。

【請求項 6】 非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を前記振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、前記振動シミュレート手段における差分方程式の微小時間項 ΔT を音声などの外部信号のピッチに応じて変更する ΔT 制御手段と、音声などの外部信号のピッチを抽出するピッチ抽出手段とを備えた楽音合成装置。

【請求項 7】 振動シミュレート手段が、2 次の非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことを特徴とする請求項 6 記載の楽音合成装置。

【請求項 8】 ΔT 制御手段が、音声などの外部信号のピッチに応じて ΔT を連続的に変化させることを特徴とする請求項 6 または 7 記載の楽音合成装置。

【請求項 9】 非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を前記振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段とを備えた楽音合成装置において、前記振動シミュレート手段における差分方程式を 1 サンプル単位時間内に N 回実行し、指示された楽器種に応じて N の値を変更することを特徴とする楽音合成装置。

【請求項 10】 振動シミュレート手段が、2 次の非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことを特徴とする請求項 9 記載の楽音合成装置。

【請求項 11】 非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を前記振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、前記振動シミュレート手段における差分方程式中の変数 y とその 1 次差分項 $y \text{ dot}$ とを混合したものを出力させるとともにそのミキシング比を制御するミキシング制御手段とを備えた楽音合成装置。

【請求項 12】 振動シミュレート手段が、2 次の非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことを特徴とする請求項 11 記載の楽音合成装置。

【請求項 13】 ミキシング制御手段が、振動シミュレート手段における差分方程式中の変数 y とその 1 次差分項 $y \text{ dot}$ 以外の変数も同時にミキシングすることを特徴とする請求項 11 または 12 記載の楽音合成装置。

【請求項 14】 楽器の発音メカニズムを解析し、楽器の発振部分に相当する回路と、楽器の共鳴部分（所望の楽音のピッチを決定する部分）に相当する回路が結合された回路 A を求め、前記共鳴部分に相当する回路を取り除くとともに前記発振部分に相当する回路に対して音声などのピッチを有する外部信号を入力する構成の回路 B を求め、前記回路 B の信号処理の内容を非線形の微分方程式に置換することによって、合成アルゴリズムを導出する方法。

【請求項 15】 楽器の発音メカニズムを解析し、楽器の発振部分に相当する回路と、楽器の共鳴部分（所望の楽音のピッチを決定する部分）に相当する回路が結合された回路 A を求め、前記共鳴部分に相当する回路を取り除くとともに前記発振部分に相当する回路に対して音声などのピッチを有する外部信号を入力する構成の回路 B を求め、前記回路 B の信号処理の内容を非線形の微分方程式に置換し、更に前記非線形の微分方程式に基づき非線形の差分方程式を求めることによって、漸化式形式の合成アルゴリズムを導出する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、電子楽器の音源などに用いられる楽音合成装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 自然楽器の発音構造を電子回路で模擬することによって音色を合成する楽音合成装置が提案されている（例えば、特開平 6 - 2 2 2 7 7 7 号公報）。この類の合成装置によれば、特にトランペット等の管楽器系の音色において、発音中に楽器らしく音色を変化させることができるといった特徴を有している。

【0003】 以下、図面を参照しながら上述したような

従来の楽音合成装置について説明する。

【0004】図8は従来の楽音合成装置のブロック図である。図8において、601は減算器、602はトランペットを吹奏する際の唇の振動をシミュレートする振動部、603は唇の空隙の音響アドミタンスの特性を格納するテーブル、604は乗算器、605は減算器、606は積分器、607は加算器、608はディレイである。

【0005】図9は振動部602の回路図である。図9において、701は減算器、702は加算器、703、704は1サンプリング時間 T_s 分データを遅延させる遅延器、705、706、707はそれぞれ係数 a 、 b 、 c と対応するデータとの乗算を行う乗算器である。

【0006】図10はトランペットを吹奏する際の唇の振動状態を示す縦断面図、図11はトランペットを吹奏する際の唇の振動を、質点とバネとダッシュポットで表した模式図、図12はトランペットを吹奏する際の唇の空隙の音響アドミタンス特性を表すグラフである。

【0007】図13は積分器606の回路図である。図13において、901は加算器、902は1サンプリング時間 T_s 分データを遅延させる遅延器、903は係数 d とデータとの乗算を行う乗算器である。

【0008】図14(A)はトランペットを吹奏する際の口内の圧力に対応する口内圧力データ P の時間特性を表すグラフ、図14(B)はトランペットを吹奏する際の唇の締め具合に対応するアンプッシャデータ A_m の時間特性を表すグラフ、図14(C)はピッチデータ P_i の時間特性を表すグラフ、図14(D)は合成音データの時間特性を表すグラフである。

【0009】図15(A)はトランペットを吹奏する際の口内の圧力に対応する口内圧力データ P の時間特性を表すグラフ、図15(B)はトランペットを吹奏する際の唇の締め具合に対応するアンプッシャデータ A_m の時間特性を表すグラフ、図15(C)はピッチデータ P_i の時間特性を表すグラフ、図15(D)は合成音データの時間特性を表すグラフである。

【0010】図16はサキソフォンを吹奏する際のリードの振動状態を示す縦断面図、図17はサキソフォンを吹奏する際のリードの振動を、質点とバネとダッシュポットで表した模式図、図18はサキソフォンを吹奏する際のリードの空隙の音響アドミタンス特性を表すグラフである。

【0011】以上のように構成された従来の楽音合成装

$$m(d^2x/dt^2) + r(dx/dt) + kx = \Delta P$$

但し、 $x \geq 0$

m は上唇の質量、 k は上唇のバネ定数、 r は上唇の減衰係数

【0014】図9に示す回路は(数1)の線形微分方程式をデジタル回路化したものである。係数 a 、 b 、 c は(数2)で表される。なお、バネ定数 k はアンプッシャデータ A_m に等しいものであるとする。唇の締め具合を

置について動作説明をする。まず、図8を用いて全体の動作について説明する。まずトランペットを吹奏する際に演奏者の口内に圧力が発生する。これに対応する口内圧力データ P が減算器601に送出される。減算器601において、マウスピース内の音圧に対応するデータ P_m と口内圧力データ P との差分値 ΔP が算出され、 ΔP が唇を振動させる強制振動項として振動部602に送出される。一方、唇の締め具合に対応するアンプッシャデータ A_m も振動部602に入力され、振動部602における固有振動数(唇の振動ピッチ)が決まる。 ΔP は振動部602における振動を励起し、振動部602からは唇の変位(唇の開き具合)に対応するデータ x がテーブル603に送出される。テーブル603はデータ x に応じて、唇の空隙の音響アドミタンスに対応するデータ $A_{dm}(x)$ を参照し、乗算器604に送出する。乗算器604では、 ΔP と $A_{dm}(x)$ を乗算し、演奏者の口からマウスピースに対して流れ込む体積流速速度に対応するデータ U が減算器605に送出される。減算器605では、管からマウスピース内に逆流してくる体積流速速度 U_i と U との減算が行われマウスピース内の体積流速速度に対応するデータ U_m が決まる。 U_m は、積分器606において、マウスピース内の音響コンプライアンス(いわゆる空洞状態)に起因する積分処理を受け、マウスピース内の音圧に対応するデータ P_m が決まる。一方、 U_m は、 U_i と加算され管の本体側へ流れ込む体積流速速度に対応するデータ U_o が算出され、所望の合成音データとして出力される。ディレイ608は、 U_i が管の本体を通り、朝顔付近で反射されて再び U_o として戻ってくるまでの過程(遅延)を集中定数的に模擬したものであり、この過程の長さ、即ちディレイ長は合成音データの音高に対応するピッチデータ P_i によって制御される。なお、簡単な為、朝顔の放射特性に対応する回路は省略した。

【0012】さて、図9～図12を用いて、振動部602の内部動作について説明する。唇の振動において重要な要素は、図10におけるデータ x (上唇の変位)である。上唇と下唇が対称的に振動するものと仮定すると、唇の空隙は、 x に比例するものと考えることができる。上唇の振動を簡易的に模擬したものが図11に示す振動モデルである。この振動モデルは(数1)で記述することができる。

【0013】

【数1】

強くするという事は、バネ定数 k (アンプッシャデータ A_m)を大きくすることであり、唇の固有振動数が高くなる。

【0015】

【数2】

$$\begin{aligned} a &= \{Ts / (2 * n * B)\} * \exp(-Q * Ts) \{ \exp(R * Ts) - \exp(R * Ts) \} \\ b &= \exp(-Q * Ts) * \{ \exp(R * Ts) + \exp(R * Ts) \} \\ c &= \exp(-2 * Q * Ts) \\ Q &= r / (2m) \\ R &= (r^2 / 4m^2) - (k/m) \end{aligned}$$

但し、Tsは1サンプリング時間

mは上唇の質量、kは上唇のバネ定数、rは上唇の減衰係数

【0016】振動部602において生成されたxは、唇の空隙の音響アドミタンスAdm(x)を求める要素、即ちテーブル603のアドレス値として送出される。テーブル603には、図12に示す音響アドミタンス特性値が格納されており、xに基づいて参照された音響アドミタンスAdm(x)は、乗算器604においてΔPと乗算され、唇の空隙を流れる体積流速Uが算出され

$$An = k$$

$$k = (2 * \pi * n) (Ts / T)^2 + r^2 / (4m)$$

但し、Tsは1サンプリング時間

nは上唇の質量、kは上唇のバネ定数、rは上唇の減衰係数、πは円周率

【0018】

【数4】

$$Pi = T / Ts$$

但し、Tsは1サンプリング時間

【0019】次に、図13を用いて、積分器606の内

$$C(dPn/dt) = Um$$

但し、Cはマウスピースの音響コンプライアンス

【0021】

【数6】

$$d = Ts / C$$

但し、Tsは1サンプリング時間

【0022】以上説明した動作は、1サンプリング時間Tsあたりの動作であるが、これを複数サンプルに亘って繰り返し行うことにより、図14(D)に示す合成音データを出力することとなる。合成音データの立ち上がり時間は、図14(A)に示す口内圧力データPの立ち上がり時間に依存する。また音が立ち上がった直後の合成音データの振幅レベルの安定性は、以下の2つの条件を共に満足した場合に保証される。

【0023】＜条件1＞口内圧力データPが一定していること。

＜条件2＞ピッチデータPi及びアンブッシャデータAmの両者共に、周期Tに対応する値を一定して保つこと。

【0024】図14(D)に示す合成音データは、＜条件1＞、＜条件2＞共に満足するので、その振幅レベルは一定(安定)している。

【0025】一方、図15(B)に示すようにアンブッシャデータAmが、音の立ち上がり付近は小さく、周期Tより十分長い時間を要して、次第に周期Tに対応する値に近づくと、時刻0から時刻taの間においては＜条件2＞を満足できないので、図15(D)に示すよう

る。なお、アンブッシャデータAm及びピッチデータPiのそれぞれの値は(数3)及び(数4)によって与えられ、それらが共に値Tの時に、合成音データは周期Tの安定周期波形となる。

【0017】

【数3】

部動作について説明する。積分器606は(数5)で記述される微分方程式をデジタ回路化したものである。また、係数dは(数6)で表される。

【0020】

【数5】

に、合成音データの振幅レベルは一定しなくなる。この現象は、アンブッシャデータAmが周期Tに対応する値と異なる為、唇の固有振動モードと、管の本体内で生じる気柱の振動モード(ピッチデータPiに対応)が一致しない(共振しない)為に生じる現象である。図15

(D)のエンベロープ(破線で示したもの)の周期は、唇の固有振動数、即ちアンブッシャデータAmに対応し、周期Tに対して非常に低い周波数から次第に高い周波数に近づいていき、時刻ta以降は、振幅が一定した周期波形となる。トランペット等の金管楽器の演奏においては、この現象を音楽表現の要素(グロールという)として積極的に利用されている。例えば、ジャズ系の演奏においては、洒落た感じを出すために、わざと曲想に応じて、グロール感の無い音色(図14(D))と、グロール感の有る音色(図15(D))を使い分けことがある。更に、吹き込み圧力も同時に変化させて、音色変化をより複雑なものにすることもある。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図8に示すような構成では、上述した音色変化を実現しようとすると、口内圧力データPやアンブッシャデータAm等の複数のパラメータを別々の操作子に割り当て、それらを同時に制御する必要があり、音色を変化させることが非常に困難である。

【0027】本発明は、上記問題点を解決するもので、

上述した音色変化を簡単に実現することのできる楽音合成装置を提供する。

【 0 0 2 8 】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために、本発明の楽音合成装置は、非線形の微分方程式に基づく演算によって、楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における非線形の微分方程式に基づく演算の強制振動項として入力する外部信号入力手段とを備えたものである。これにより、音声などの外部信号を用いて、直接振動シミュレート手段の振動状態を制御するので、簡単に音色変化（例えばグロウル感）を制御することができる。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】本発明は、音声を検出する音声検出手段と、検出された音声のアナログデジタル変換を行うアナログデジタル変換手段と、非線形の微分方程式に基づく演算によって、楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、前記振動シミュレート手段から出力されるデジタル出力を所望の楽音信号に変換するデジタルアナログ変換手段とを備える。この構成によって、音声検出手段が検出した音声信号に基づき、振動シミュレート手段が非線形の微分方程式に基づく演算により楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する。管楽器の音色変化のニュアンスは音声の発生の違いにおける音色変化のニュアンスに似ているので、音声の発生の仕方の違いにより、管楽器らしい音色変化を行うことができる。

【 0 0 3 0 】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。図 1 は本発明の実施の形態における楽音合成装置の構成を示すブロック図である。図 1 において、1 0 1 は音声を検出するマイク、1 0 2 はアナログデジタル変換器（ADC）、1 0 3 は図 2 に示す差分方程式（後述する非線形の微分方程式を漸化形式に置換した演算式）を、1 サンプル時間 T_s 毎に実行する振動シミュレート手段としてのプロセッサ、1 0 4 はデジタルアナログ変換器（DAC）、1 0 5 は図 2 の差分方程式中の微小時間項 ΔT の値を制御する ΔT 制御部、1 0 6 は図 2 の差分方程式を 1 サンプル時間 T_s 内に実行する回数 N を制御するループ制御部、1 0 7 はプロセッサ 1 0 3 から出力されるデータの重みづけ制御を行うミキシング制御部、1 0 8 はセレクタ、1 0 9 は音声のピッチを抽出するピッチ抽出器である。なお、ピッチ抽出器 1 0 9 の内部構成は一般的によく知られたものであるため、その内部構成についての説明は省略する。

【 0 0 3 1 】図 2 はプロセッサ 1 0 3 が実行する差分方程式のフローチャートである。図 3 は図 8 の従来の楽音

合成装置を簡略化した回路図である。図 3 において、2 0 1 は減算器である。その他のブロックは図 8 の楽音合成装置と同様である。

【 0 0 3 2 】図 4 は図 3 の楽音合成装置のディレイ 6 0 8 を削除し、ディレイ 6 0 8 からの帰還入力の代わりに外部からの周期波形データ w に置き換えた楽音合成装置である。図 4 において 3 0 1 は減算器である。また、図 5 は図 4 の楽音合成装置における外部入力の位置を減算器 6 0 1 の後段に移動させた楽音合成装置である。図 5 において 3 0 2 は加算器である。なお、加算器 3 0 2 には音声データ s が入力されるものとする。

【 0 0 3 3 】図 6 (A) は音声データ s の時間特性図、図 6 (B) は合成音データの時間特性図である。また、同様に図 7 (A) は音声データ s の時間特性図、図 7 (B) は合成音データの時間特性図である。

【 0 0 3 4 】以上のように構成された楽音合成装置について動作説明をする。まず、本発明の楽音合成装置の合成アルゴリズムである、図 2 の差分方程式の導出方法について説明する。まず、図 8 に示す従来の楽音合成装置を図 4 に示す構成に変更する。これは単に図 8 の減算器 6 0 5 と加算器 6 0 7 を、図 3 の減算器 2 0 1 にまとめただけである。次に図 3 から図 4 を導出する。図 3 のディレイ 6 0 8 からは周期波形データ $out(T-t)$ が帰還される。なお、時間 T は合成音データのピッチに対応する周期であり、またディレイ 6 0 8 の遅延時間でもある。周期波形データ $out(T-t)$ に略等しい波形を外部から与えたものが、図 4 に示す楽音合成装置である。音色シミュレーションによれば、 $out(T-t)$ と周期波形データ w は位相も含め厳密に一致させなくても、だいたいの波形形状が一致していれば、図 3 と図 4 の合成音データは同じ音色となる。

【 0 0 3 5 】次に、図 4 から図 5 への変形であるが、減算器 3 0 1 を除去する代わりに加算器 3 0 2 を追加し、更に周期波形データ w の代わりに、これを積分した周期波形データ w_2 を入力させるような構成とすると、図 4 と図 5 は等価な回路となる。周期波形データ w_2 は、周期波形データ w に対して、積分器 6 0 6 の積分作用（高域遮断）を受けたデータであり、例えば図 6 (A) に示すような、倍音成分の少ない波形形状となる。この周期波形データ w_2 を音声データ s （裏声のような倍音の少ない音声）として外部から入力すれば、図 5 の合成音データは図 3 の合成音データの音色とほぼ等しくなる。さて、図 5 の回路に基づき、図 2 の差分方程式を導出する。図 5 の合成音データを dy/dt (y を 1 階微分したものであり、これを差分形式で表した場合 $ydot$ と定義する) とすると、積分器 6 0 6 の出力が y となる。また図 1 2 に示すテーブル 6 0 3 の変換特性 $Adm(x)$ を x^1 とすると、テーブル 6 0 3 の出力は x^1 となる。さて図 5 と、(数 1) に示す振動部 6 0 2 の微分方程式を用いて、図 2 の差分方程式を導出する。ま

ず、(数1)の ΔP が $(s-y+P)$ に対応するので、
(数1)は(数7)に変形できる。

【0036】

【数7】

$$d^2x/dt^2 + (r/m)(dx/dt) + (k/m)x = (s-y+P)/m$$

【0037】(数7)において、新たな変数 dz/dt と $g(x)$ を導入すると、(数7)は(数8)に変形できる。

【0038】

【数8】

$$\begin{aligned} d^2x/dt^2 &= -dz/dt - \{g(x)/dx\}(dx/dt) \\ dz/dt &= (k/m)x - \{(s-y+P)/m\} \\ g(x) &= (r/m)x \end{aligned}$$

【0039】(数8)において t の2階微分項を t の1階微分項にすると(数9)が導出できる。

【0040】

【数9】

$$\begin{aligned} dx/dt &= -z - g(x) \\ dz/dt &= (k/m)x - \{(s-y+P)/m\} \\ g(x) &= (r/m)x \end{aligned}$$

【0041】更に図5に基づき、 dy/dt ($y \dot{}$) 20
に対応)を導入すると(数10)が導出できる。

【0042】

【数10】

$$\begin{aligned} dx/dt &= -z - (B \cdot x) \\ dy/dt &= x^2 \cdot (s-y+P) \\ dz/dt &= (A \cdot x) - \{(s-y+P)/m\} \\ \text{但し } A &= r/m, B = k/m \end{aligned}$$

【0043】ここで、 dx/dt 等の1階微分項を1階差分項に近似し、各差分項を $x \dot{}$, $y \dot{}$, $z \dot{}$ とすると、 x , y , z は、(数11)に示すように 30
微小時間項 ΔT を用いて表すことができる。

【0044】

【数11】

$$\begin{aligned} x \dot{} &= -z - (B \cdot x) \\ y \dot{} &= x^2 \cdot (s-y+P) \\ z \dot{} &= (A \cdot x) - \{(s-y+P)/m\} \\ x &= x + (x \dot{} \cdot \Delta T) \\ y &= y + (y \dot{} \cdot \Delta T) \\ z &= z + (z \dot{} \cdot \Delta T) \\ \text{但し } A &= r/m, B = k/m \end{aligned}$$

【0045】さて、(数11)の各種変数は1サンプリング時間 T_s 毎に更新される漸化式であるが、1サンプリング時間 T_s より更に短い時間間隔で更新される漸化式が、図2に示す差分方程式であり、1サンプリング時間 T_s 内を4分割した。このように、更新の時間間隔をより短くすることにより、アナログシステム(微分方程式)をより厳密にシミュレートしたデジタルシステム(差分方程式)が得られる。ここで(数11)における A , B 等の各種定数は、厳密には実際のトランペット等の演奏時における様々な物理量(例えば唇の質量)を計測することによって求められるものであるが、簡単な 50

為、図2の差分方程式に基づいて音色シミュレーションを行った結果、各種定数の値は(数12)に示す値となる。この値の場合に、ほぼトランペットの音色に近い音色が得られる。

【0046】

10 【数12】

$$\begin{aligned} A &= 0.05 \\ B &= 0.025 \\ P &= 1.0 \\ \Delta T &= 0.1 \end{aligned}$$

【0047】さて、以上説明した図2の差分方程式を用い、本発明の楽音合成装置の動作について説明する。まず図1に示すように、音声信号がマイク101、アナログデジタル変換器102を介して、音声データ s としてプロセッサ103に取り込まれる。通常のトランペット音色を合成する場合は、音声データ s は図6(A)に示すような振幅レベルの一定した周期波形とすればよい。この入力により、合成音データ $y \dot{}$ は図6(B)に示すような振幅レベルが一定した周期波形となる。この波形は、図14(D)に示す従来の楽音合成装置の合成音データとほぼ形状の等しい波形となる。ちなみに、音声信号として倍音成分を多く含むような声(例えば、じゃがれた声)を入力すると、声自体がもつ倍音成分も合成音データに含まれて出力されるので、実際のトランペット等の楽器音色とは違う音色となる。但し、その楽器音の特徴的な倍音構造(例えば、唇の固有振動に対応するもの)は保存されるので、大まかな音色のイメージは変わらない。

【0048】一方、図7(A)に示すような、振幅レベルが立ち上がりで変動するような音声データ s を入力すると、合成音データ $y \dot{}$ は図7(B)に示すような振幅レベルが不安定な周期波形となる。この波形は、図15(D)に示す従来の楽音合成装置の合成音データとほぼ形状の等しい波形となる。なお、図7(A)に示す音声データ s は、「ブルッ」と発音した際の音色であり、トランペットのグロウル感がある時の立ち上がりの音色(唇のみの振動音)にほぼ等しいものである。また、トランペットなどの管楽器においては、タンギングをした時の音色や、しない時の音色を、使い分けることによって、音楽表現することがあるが、本発明の楽音合成装置では、単に音声「ア行の音韻」と「タ行の音韻」を使い分けるだけで、タンギングをした時やしない時の音色の違いも実現することができる。

【0049】ここで、図2の差分方程式に導入した ΔT と N の意味について補足説明する。まず、 ΔT であるが、(数11)において、 $x \dot{}$, $y \dot{}$, $z \dot{}$

tからx, y, zを算出する微小時間項として、それぞれの変数において共通に ΔT を用いたが、物理的（厳密）に言うとそれぞれ異なるものである。例えば、y dot tに対応する ΔT は、(数6)及び図13に示す積分器606の累算係数dに対応する（音響コンプライアンスCに逆比例する）。これに対しxやzに対応する ΔT は、それぞれ唇の締め具合に対応するバネ定数kの関数となる。従来の楽音合成装置では、バネ定数kはアンブッシュデータAmとして合成音データの音色を制御する要素であったが、本発明においては、音声信号によって直接音色を制御する為、音色制御面（音色変化面）において、バネ定数k（バネ定数kに対応させた ΔT ）を独立して設ける必要がない。また音色そのものにおいても、 ΔT を(数12)に示したように共通の値としても、音色シミュレーション上（聴感上）あまり問題ない。ここで、 ΔT の値を変更させて、音色を変えることについて説明する。上述したように ΔT は音響コンプライアンスCに逆比例する。音響コンプライアンスCとはマウスピース内の内容積の大きさに対応するものである。

10

従って、 ΔT の値をより小さくすると、マウスピース内の内容積が大きな音色（トランペットに対してトロンボーンやチューバなどの音色）に変化する。

【0050】本発明の楽音合成装置では、この点に着目し、図1に示すように ΔT 制御部105を備えた。なお、 ΔT 制御部105は(表1)に示すテーブル、もしくは(表2)に示すテーブルである。

【0051】

【表1】

| 楽器種指示データ | ΔT |
|----------------|------------|
| 0 (チューバ) | 0.025 |
| 1 (トロンボーン) | 0.05 |
| 2 (トランペット) | 0.1 |
| 3 (ピッコロトランペット) | 0.2 |

但しN=4の場合とする

【0052】

【表2】

| ピッチデータ [Hz] | ΔT |
|-----------------------|------------|
| 100 (チューバの音域付近) | 0.025 |
| 200 (トロンボーンの音域付近) | 0.05 |
| 400 (トランペットの音域付近) | 0.1 |
| 800 (ピッコロトランペットの音域付近) | 0.2 |

但しN=4の場合とする

【0053】図1において、セレクタ108に入力されるMODEフラグが値0の場合、A入力（楽器種指示データ）が選択される。この場合は、 ΔT 制御部105は(表1)に示すテーブルであるとする。 ΔT 制御部105からは、楽器種指示データに応じた ΔT の値が読み出され、プロセッサ103内に設定され、各楽器種指示データに応じた音色が合成されることとなる。一方、MODEフラグが値1の場合、B入力（ピッチ抽出器109の出力）が選択される。この場合は、 ΔT 制御部105は(表2)に示すテーブルであるとする。 ΔT 制御部105からは、音声のピッチに応じた ΔT の値が読み出され、プロセッサ103内に設定され、各楽器種指示データに応じた音色が合成されることとなる。このようにピッチに応じて音色を変更することにより、そのピッチに適した音色を（例えば、低いピッチ場合はチューバ、高いピッチの場合はピッコロトランペットなどのように）、自動的に切り替えることができる。また(表2)のテーブルを、アドレス方向に分解能の細かいテーブルとすることにより、それらの楽器種の切り替えをスムーズに（連続的に）行える。なお、ピッチ抽出器109はアナログデジタル変換器102の出力（デジタルの音声

30

信号）のピッチを抽出するタイプのものでもよい。

【0054】次にNの意味であるが、Nは1サンプリング時間Tsあたりに(数11)の差分方程式を実行する回数であり、Nが大きければ大きい程、(数10)の微分方程式（アナログシステム）をより厳密にデジタルシミュレートすることになり、音色の近似度が増す。但し、Nの値に関わらずトランペット音色を合成する場合、Nの値の増減に応じて、(数13)に示す関係を保ちながら ΔT の値を調整する必要がある。

【0055】

【数13】

$$N * \Delta T = 0.4$$

【0056】(数13)の関係式を用いれば、Nによっても音色（楽器種）を変更できることがわかる。本発明の楽音合成装置では、図1に示すようにループ制御部106を備え、ループ制御部106を、楽器種指示データに基づいてNの値を出力するテーブルとした。(表3)に楽器種指示データとNの関係を示す。

【0057】

【表3】

50

| 楽器種指示データ | N |
|----------------|---|
| 0 (チューバ) | 1 |
| 1 (トロンボーン) | 2 |
| 2 (トランペット) | 4 |
| 3 (ピッコロトランペット) | 8 |

但し $\Delta T = 0.1$ の場合とする

【0058】さて、図2に示す差分方程式では、所望の合成音データを $ydot$ としたが、(数14)に示す演算式により、簡単に合成音データの高域含有量の制御(トーンコントロール)を行える。 y は $ydot$ を積分

$$out = (ydot * Mg) + \{y * (1 - Mg)\} \quad (0 \leq Mg \leq 1)$$

但し out は所望の合成音データ

【0060】

【表4】

| トーンコントロールデータ | ミキシングゲイン Mg |
|--------------|---------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 0.25 |
| 3 | 0.5 |
| 4 | 0.75 |

【0061】なお、 y や $ydot$ に加え、音声データ s 等の他の変数をミキシングしたものを合成音データとしてもよい。

【0062】以上、トランペット等の金管楽器について説明したが、サククス等の木管楽器(リード系の管楽器)にも応用展開することできる。それは図18に示すリードとマウスピースの空隙の音響アドミタンス $Adm(x)$ を変更するだけでよい。トランペットの場合 x^1 20 としたが、木管楽器の場合は、(数15)に示す関係式を用いればよい。

【0063】

【数15】

$$adm(x) = 4 - x^2 \quad (0 \leq x \leq x_a \text{ の場合})$$

$$adm(x) = 0 \quad (x_a < x \text{ の場合})$$

【0064】この場合、(数11)の差分方程式は(数16)のようになる。

【0065】

【数16】

$$\begin{aligned} xdot &= -z - (B * x) \\ ydot &= (4 - x^2) * (s - y + P) \\ zdot &= (A * x) - \{(s - y + P) / m\} \\ x &= x + (xdot * \Delta T) \\ y &= y + (ydot * \Delta T) \\ z &= z + (zdot * \Delta T) \end{aligned}$$

但し $A = r/m$ 、 $B = k/m$

【0066】本発明の実施の形態では、プロセッサ103を用いて差分方程式(デジタル)の形式で合成処理を行うことを説明したが、(数7)あるいは(数10)に示す微分方程式(アナログ)の形式で合成処理を行うこ 50

したもの、即ちローパスフィルタを通したものと等価であるので、 $ydot$ よりも高域成分の含有量が少ない。従って(数14)のミキシングゲイン Mg を大きくすれば高域含有量が増加し、 Mg を小さくすれば高域含有量が減少する。なおトーンコントロールデータは値1から4を1ステップで切り替えられるものとする。トーンコントロールデータとミキシングゲイン Mg の関係を(表4)に示す

【0059】

【数14】

ともできる。例えば(数10)に示す1階微分の形式はオペアンプや抵抗やコンデンサといったアナログ素子を用いて構成できることは一般的に知られている技術であり、この技術を用いれば、アナログ回路で構成できるので、アナログデジタル変換器102やデジタルアナログ変換器104が不要となり、コスト的なメリットも出てくる。

【0067】以上のように、本発明の実施の形態によれば、音声データ s で直接図2に示す差分方程式(トランペットの発音メカニズムに対応した方程式)を強制振動させて音色を合成するので、グロール感が無い音色(図6(B))やグロール感がある音色(図7(B))等の音色変化を、声の発生のさせ方だけでコントロールすることができる。また、差分方程式を(数11)に示すものから(数16)に示すものに変更することにより、サククス等のリード系の管楽器にも対応できる。

【0068】また、MODEフラグが値0の場合、楽器種指示データに基づき、 ΔT 制御部105が(表1)に示す変換を行うようにしたので、簡単に楽器種を変更することができる。

【0069】また、MODEフラグが値1の場合、ピッチ抽出器109が抽出した音声のピッチに基づき、 ΔT 制御部105が(表2)に示す変換を行うようにしたので、ピッチに最適な楽器種を自動的に選択、あるいは連続的に遷移させることができる。

【0070】また、楽器種指示データに基づき、ループ制御部106が(表3)に示す変換を行うようにしたので、簡単に音色を変更することができる。

【0071】また、トーンコントロールデータに基づき、ミキシング制御部107が(表4)に示す変換を行い、プロセッサ103が(数14)のミキシングゲイン Mg を制御しながら所望の合成音データを出力するようにしたので、簡単に高域成分の含有量を変更することができる。

【0072】なお、本実施の形態においては、外部入力として音声を用いたが、図6(A)や図7(A)のような複数の音声信号をサンプリングした音源を用意し、こ

の出力（ライン）をアナログデジタル変換器 1 0 2 に接続するようにする。そして例えば鍵盤のタッチに応じて、図 6（A）や図 7（A）の波形を切り替えるようにすれば、タッチの強弱制御だけで同様の効果が得られる。

【0 0 7 3】

【発明の効果】本発明は、非線形の微分方程式に基づく演算によって、楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における非線形の微分方程式に基づく演算の強制振動項として入力する外部信号入力手段とを備え、外部信号入力手段が音声などの外部信号を検出し、この信号を用いて直接振動シミュレート手段の振動状態を制御するようにしたので、簡単に音色変化（例えばグロール感）を制御することができる。

【0 0 7 4】また、本発明は、非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、振動シミュレート手段における差分方程式の微小時間項 ΔT を指示された楽器種に応じて変更する ΔT 制御手段とを備え、 ΔT 制御手段が、指示された楽器種パラメータに応じて、楽器の種類（音色）の違いに対応する微小時間項 ΔT の値を制御するようにしたので、簡単に音色を変更することができる。

【0 0 7 5】また、本発明は、非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、振動シミュレート手段における差分方程式の微小時間項 ΔT を音声などの外部信号のピッチに応じて変更する ΔT 制御手段と、音声などの外部信号のピッチ抽出手段とを備え、ピッチ抽出手段が、音声などの外部信号のピッチを検出し、 ΔT 制御手段が、検出されたピッチに応じて、微小時間項 ΔT の値を制御するようにしたので、そのピッチに最適な音色を合成することができる。

【0 0 7 6】また、本発明は、非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、振動シミュレート手段における差分方程式を 1 サンプル単位時間内に実行する回数 N を制御するループ制御手段とを備え、ループ制御手段が、指示された楽器種パラメータに応じて、楽器の

種類（音色）の違いに対応する N の値を制御するようにしたので、簡単に音色を変更することができる。

【0 0 7 7】また、本発明は、非線形の微分方程式を差分方程式の形式で解くことにより楽器音の時間波形の形状に略等しい時間波形（所望の楽音信号）を生成する振動シミュレート手段と、音声などの外部信号を振動シミュレート手段における差分方程式の強制振動項として入力する外部信号入力手段と、振動シミュレート手段における差分方程式中の変数 y とその 1 次差分項 $y \text{ dot } t$ とを混合したものを出力するとともにそのミキシング比を制御するミキシング制御手段とを備え、ミキシング制御手段が、所望の合成音データの要素である変数 y とその 1 次差分項 $y \text{ dot } t$ のミキシング比を変更するようにしたので、簡単に所望の合成音データの高域含有量を制御することができる。

【0 0 7 8】また、本発明は、楽器の発音メカニズムを解析し、楽器の発振部分に相当する回路と、楽器の共鳴部分（所望の楽音のピッチを決定する部分）に相当する回路が結合された回路（回路 A）を求め、共鳴部分に相当する回路を取り除くとともに発振部分に相当する回路に対して音声などのピッチを有する外部信号を入力する構成の回路（回路 B）を求め、回路 B の信号処理の内容を非線形の微分方程式に置換することによって、音声などの外部信号によって直接音色制御のできるアナログ回路対応の合成アルゴリズムを導出することができる。

【0 0 7 9】また、本発明は、楽器の発音メカニズムを解析し、楽器の発振部分に相当する回路と、楽器の共鳴部分（所望の楽音のピッチを決定する部分）に相当する回路が結合された回路（回路 A）を求め、共鳴部分に相当する回路を取り除くとともに発振部分に相当する回路に対して音声などのピッチを有する外部信号を入力する構成の回路（回路 B）を求め、回路 B の信号処理の内容を非線形の微分方程式に置換し、更に非線形の微分方程式に基づき非線形の差分方程式を求めることによって、音声などの外部信号によって直接音色制御のできるデジタル回路対応の合成アルゴリズムを導出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施の形態による楽音合成装置の構成を示すブロック図

【図 2】同楽音合成装置のプロセッサが実行する差分方程式のフローチャート

【図 3】従来の楽音合成装置を簡略化したブロック図

【図 4】楽音合成装置の他の構成方法を示すブロック図

【図 5】楽音合成装置の他の構成方法を示すブロック図

【図 6】音声データと合成音データの波形図

【図 7】音声データと合成音データの波形図

【図 8】従来例における楽音合成装置のブロック図

【図 9】同楽音合成装置の振動部の回路構成図

【図 1 0】トランペットを吹奏する際の唇の振動状態を

示す縦断面図

【図11】トランペットを吹奏する際の唇の振動を、質点とバネとダッシュポットで表した模式図

【図12】トランペットを吹奏する際の唇の空隙の音響アドミタンス特性を表すグラフ

【図13】積分器の回路図

【図14】トランペットの音を合成する場合の各信号の波形図

【図15】トランペットの音を合成する場合の各信号の波形図

【図16】サキソフォンを吹奏する際のリードの振動状態を示す縦断面図

【図17】サキソフォンを吹奏する際のリードの振動

を、質点とバネとダッシュポットで表した模式図

【図18】サキソフォンを吹奏する際のリードの空隙の音響アドミタンス特性を表すグラフ

【符号の説明】

102 アナログデジタル変換器

103 プロセッサ

104 デジタルアナログ変換器

105 ΔT 制御部

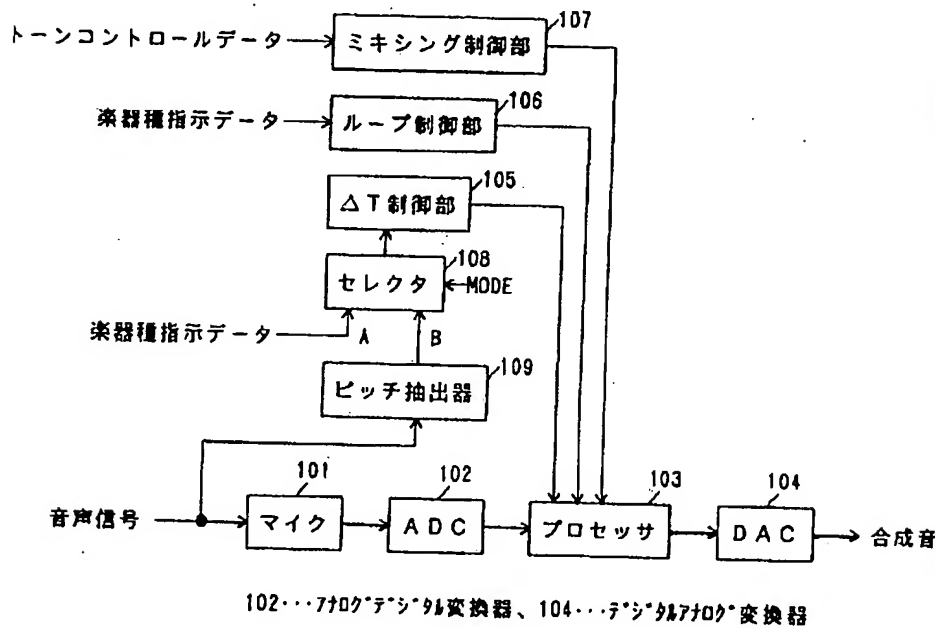
106 ループ制御部

107 ミキシング制御部

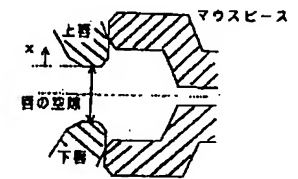
108 セレクタ

109 ピッチ抽出器

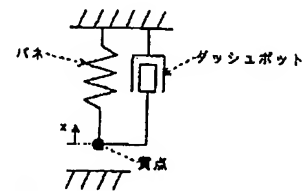
【図1】



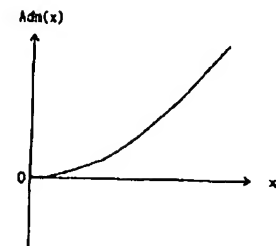
【図10】



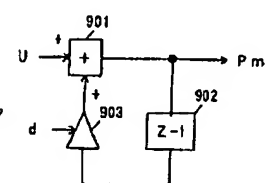
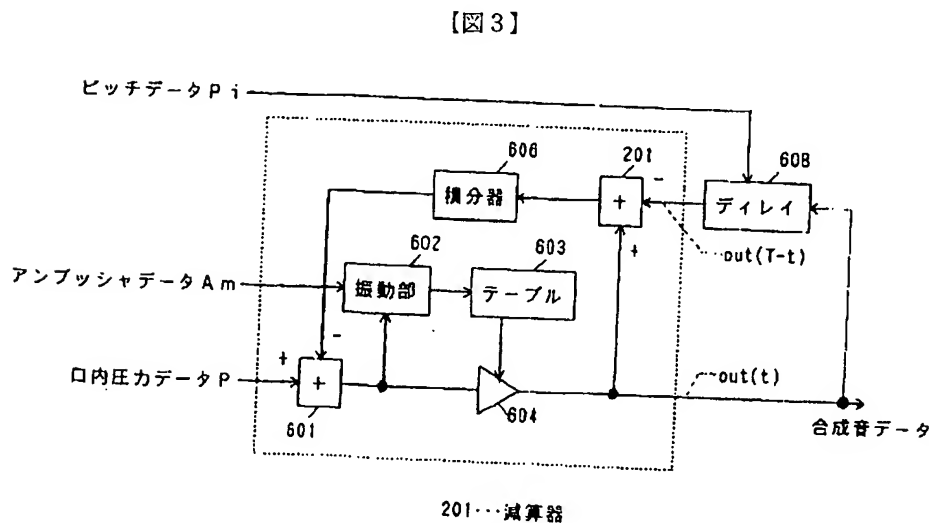
【図11】



【図12】

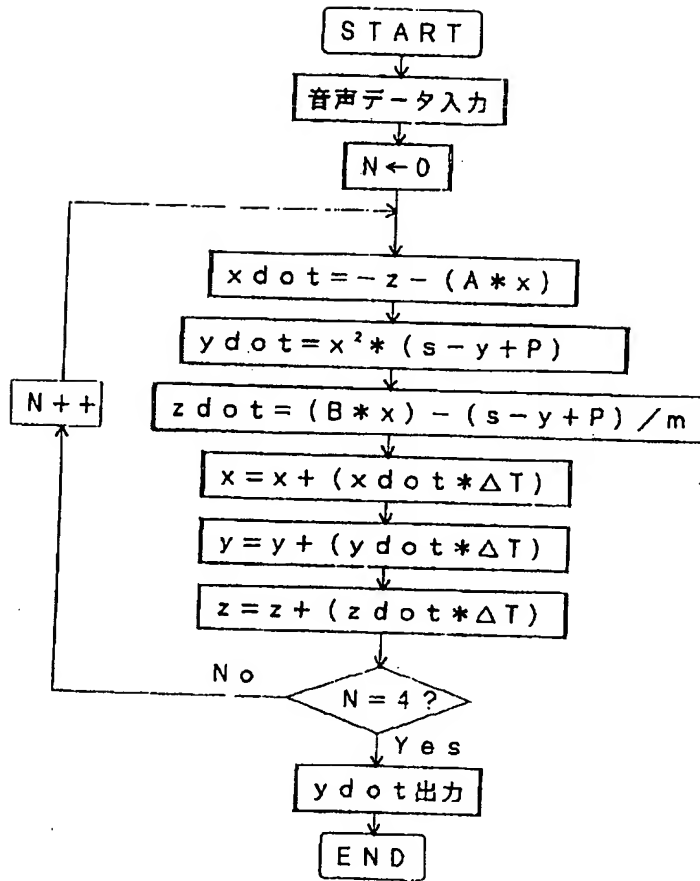


【図13】

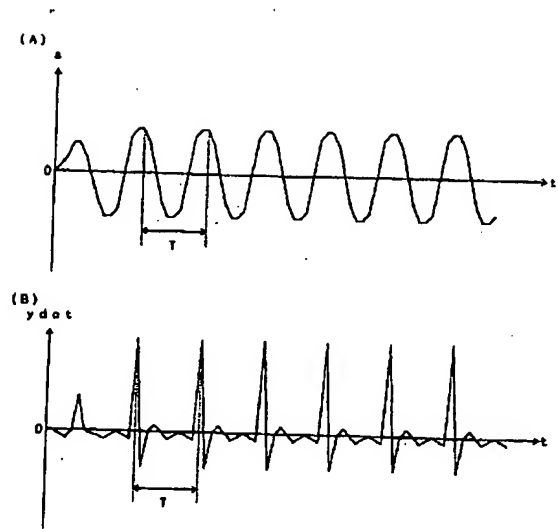


901...加算器
902...遅延器、903...乗算器

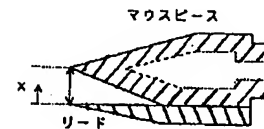
【図2】



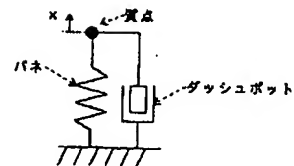
【図6】



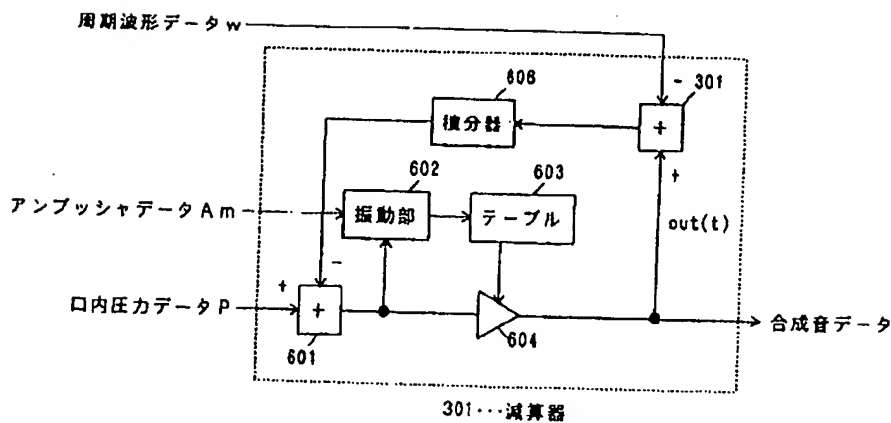
【図16】



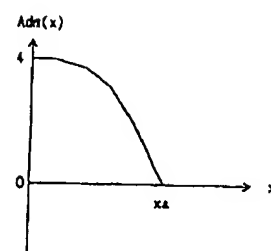
【図17】



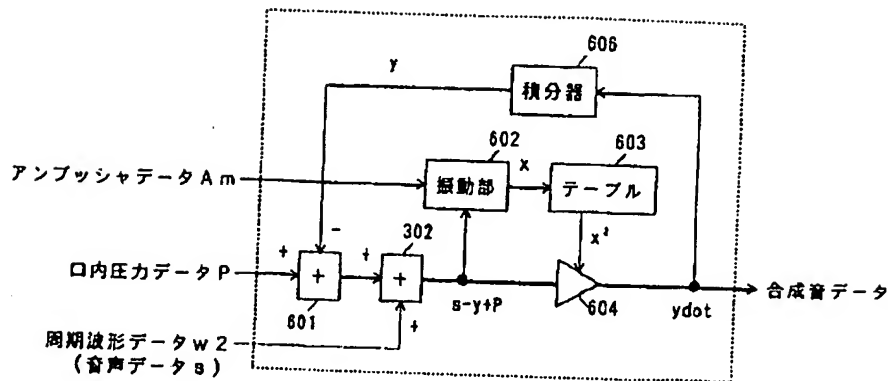
【図4】



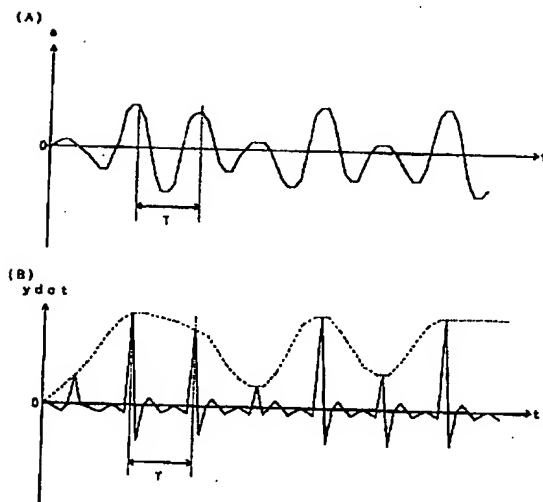
【図18】



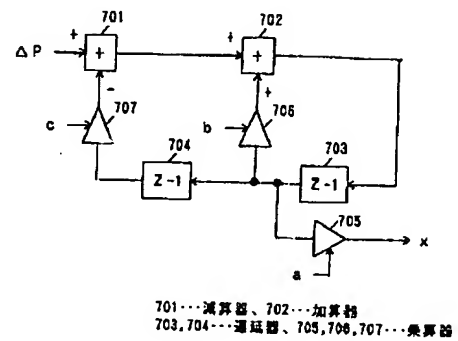
【図 5】



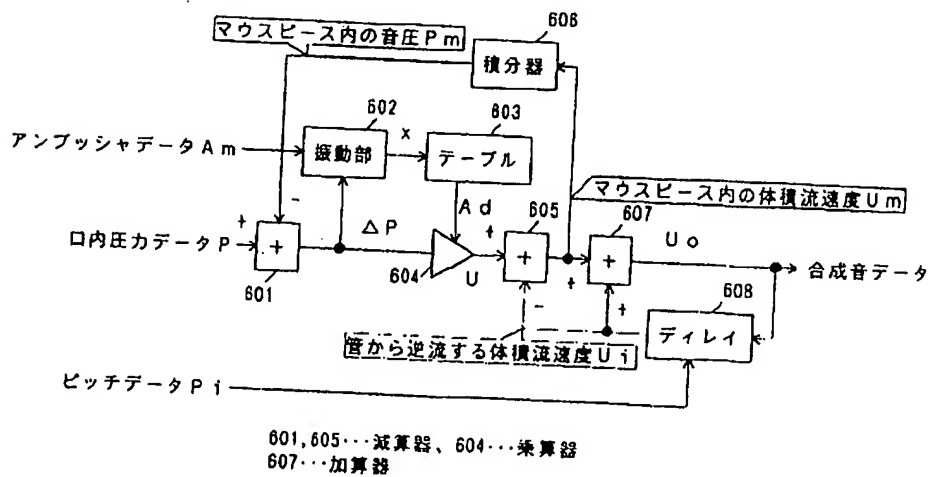
【図 7】



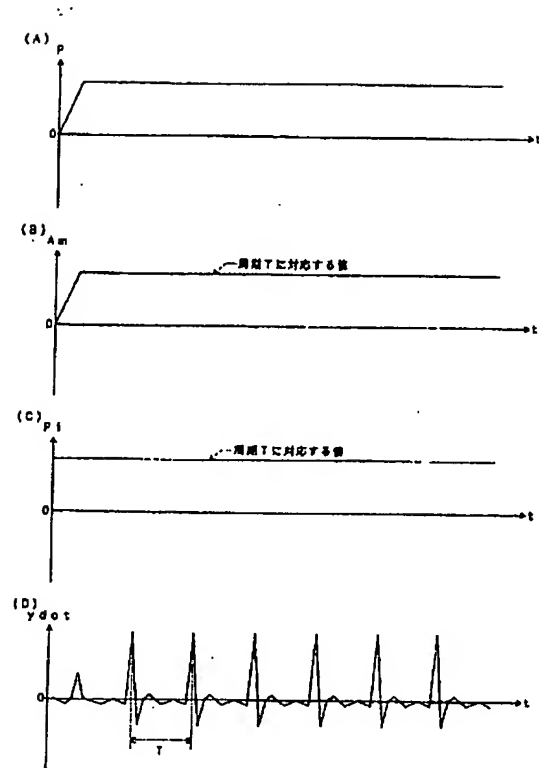
【図 9】



【図 8】



【図 14】



【図 15】

